

Automated Irrigation System with Humidity Sensors to Optimize Water Use in Polloc

 Atalaya-Chávez Leydi Lizet, Estudiante Ing. Industrial², Rojas-Miranda Lucely del Rosario, Estudiante Ing. Industrial³
, Valverde Cruzado-Bhryam Nixon, Estudiante Ing. Industrial⁴
Universidad Privada del Norte, Perú, Leydiatalaya14@gmail.com, lrm_1888@hotmail.com, Bhryamvcn11@gmail.com

Abstract - This research paper describes the design and implementation of an automatic irrigation system based on humidity sensors to improve water use efficiency in rural areas in the Polloc district of Cajamarca. The research addresses the problem of inefficient water use in traditional agriculture, especially in communities with limited access to technology. A prototype was developed with resistive sensors, an Arduino UNO microcontroller, and a solenoid valve, powered by solar energy, and applied to 10 agricultural plots during a 30-day trial period. The results showed an average 38% reduction in water consumption and a 42% increase in water efficiency. The system also reduced the frequency and duration of irrigation and was well received by farmers, who highlighted its usefulness, ease of use, and potential for larger-scale implementation. It is concluded that this technology is a viable, sustainable, and replicable alternative to address irrigation challenges in rural areas.

Keywords - Automatic irrigation, Humidity sensors, Water efficiency

Sistema de Riego Automatizado con Sensores de Humedad para Optimizar el Uso del Agua en Polloc

Atalaya-Chávez Leydi Lizet, Estudiante Ing. Industrial², Rojas-Miranda Lucely del Rosario, Estudiante Ing. Industrial³,
Valverde Cruzado-Bhryam Nixon, Estudiante Ing. Industrial⁴
Universidad Privada del Norte, Perú, Leydiatalaya14@gmail.com, lrm_1888@hotmail.com, Bhryamvcn11@gmail.com

Resumen- El presente trabajo de investigación describe el diseño e implementación de un sistema de riego automático basado en sensores de humedad para mejorar la eficiencia del uso del agua en zonas rurales en el distrito de Polloc, Cajamarca. La investigación responde a la problemática del uso ineficiente del recurso hídrico en la agricultura tradicional, especialmente en comunidades con acceso limitado a tecnologías. Se desarrolló un prototipo con sensores resistivos, un microcontrolador Arduino UNO y una electroválvula, alimentado con energía solar, y se aplicó en 10 parcelas agrícolas durante un periodo de prueba de 30 días. Los resultados mostraron una reducción promedio del 38% en el consumo de agua y un incremento del 42% en la eficiencia hídrica. Asimismo, el sistema redujo la frecuencia y duración del riego, y fue bien recibido por los agricultores, quienes destacaron su utilidad, facilidad de uso y potencial de implementación a mayor escala. Se concluye que esta tecnología es una alternativa viable, sostenible y replicable para enfrentar los desafíos del riego en zonas rurales.

Palabras claves: Riego automático, Sensores de humedad, Eficiencia hídrica.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema de riego automático basado en sensores de humedad del suelo para mejorar la eficiencia del uso de agua en zonas rurales de Cajamarca.

Objetivos específicos:

- Desarrollar un prototipo de sistema de riego automático utilizando sensores de humedad de bajo costo.
- Evaluar la efectividad del sistema en el control del riego en función de los niveles de humedad del suelo.
- Analizar la percepción de los agricultores sobre la utilidad y aplicabilidad del sistema implementado.

I. Introducción

A nivel mundial, la gestión del agua en la agricultura representa uno de los principales retos frente al cambio climático y la seguridad alimentaria. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [1], estima que cerca del 70% del agua dulce se destina a este sector, siendo utilizada de forma ineficiente en muchos casos. Esta situación se agrava en países en desarrollo, donde los métodos de riego tradicionales predominan y la adopción de tecnologías modernas es aún limitada.

En el Perú, solo el 15% de las áreas agrícolas cuenta con riego tecnificado, lo que afecta la productividad y sostenibilidad del sector [2]. Este problema es más crítico en zonas rurales como Polloc, en la región Cajamarca, donde los agricultores dependen del agua de lluvia y enfrentan dificultades por la falta de infraestructura y recursos técnicos [3]. La pobreza, las condiciones del suelo y el acceso limitado a tecnologías agravan el uso ineficiente del recurso hídrico.

Frente a esta realidad, el presente proyecto propone diseñar e implementar un sistema de riego automático basado en sensores de humedad como una alternativa accesible para optimizar el uso del agua en cultivos. Esta solución tecnológica busca mejorar la eficiencia hídrica, reducir el desperdicio del recurso y contribuir al desarrollo agrícola sostenible de la comunidad rural de Polloc.

1. Realidad Problemática

A nivel mundial, la gestión eficiente del agua en la agricultura se ha convertido en un desafío crítico. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), aproximadamente el 70% del agua dulce disponible se destina a actividades agrícolas, siendo muchas veces empleada de manera ineficiente [4]. Además, el cambio climático ha intensificado la frecuencia de sequías, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria global [5]. Frente a esta situación, la adopción de tecnologías inteligentes, como los sistemas de riego automatizado basados en sensores, se presenta como una solución para optimizar el uso del agua y aumentar la resiliencia de los cultivos.

En Perú, la agricultura representa cerca del 5% del Producto Bruto Interno (PBI) y emplea al 25% de la población económicamente activa [6]. Sin embargo, el riego tecnificado apenas cubre un 15% de las áreas agrícolas, siendo la mayoría de los agricultores pequeños productores que dependen de métodos tradicionales [7]. Esta situación genera un uso ineficiente del agua, exacerbando los problemas de escasez hídrica, especialmente en zonas altoandinas. Las políticas nacionales promueven el uso de tecnologías de riego tecnificado,

pero su adopción sigue siendo limitada debido a factores como el costo, el acceso a la tecnología y la falta de capacitación.

En la región de Cajamarca, caracterizada por su importante actividad agropecuaria, los problemas de acceso al agua son particularmente críticos en las zonas rurales. La dependencia de fuentes de agua de lluvia y la falta de infraestructura de riego adecuada impactan negativamente la productividad agrícola [8]. Además, la limitada disponibilidad de tecnologías apropiadas para pequeños productores agrava el problema. Las comunidades rurales enfrentan también desafíos económicos que dificultan la implementación de sistemas modernos de riego. En este contexto, el desarrollo de soluciones tecnológicas de bajo costo, como sistemas de riego automático basados en sensores de humedad, se presenta como una alternativa viable para optimizar el uso del recurso hídrico, mejorar la producción agrícola y contribuir al desarrollo sostenible de la región.

3. Marco Teórico

Agricultura de precisión y riego inteligente: La agricultura de precisión constituye una revolución tecnológica en el manejo agrícola, orientada a maximizar la eficiencia de los cultivos mediante el uso racional de los recursos disponibles, como el agua, el suelo, los nutrientes y la energía. Este enfoque integra tecnologías como sensores, sistemas de posicionamiento global (GPS), imágenes satelitales y software especializado para tomar decisiones más informadas [9]. Además, el riego inteligente contribuye a mejorar la productividad agrícola, disminuir los costos operativos y minimizar los impactos ambientales, favoreciendo un modelo agrícola más sostenible y resiliente frente al cambio climático [10].

Sensores de humedad del suelo: Los sensores de humedad del suelo son dispositivos diseñados para medir la cantidad de agua disponible en el medio edáfico, información clave para una gestión adecuada del riego. Estos sensores pueden funcionar mediante distintos principios físicos, como la medición de la resistencia eléctrica, la capacitancia o la reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), [11].

Automatización en el riego rural: La automatización de sistemas de riego representa una de las principales estrategias para mejorar la eficiencia hídrica en zonas rurales, donde las limitaciones en infraestructura y acceso a servicios básicos dificultan una gestión adecuada del agua. Diversos estudios, como el de [12], han evidenciado que la implementación de sistemas automáticos de riego puede reducir el consumo de agua en un 30% a 50% en comparación con los métodos tradicionales de riego manual.

4. Hipótesis

La implementación de un sistema de riego automático basado en sensores de humedad aumentará significativamente la eficiencia en el uso del agua en cultivos agrícolas de zona rural de Polloc, reduciendo el desperdicio de este recurso y mejorando el rendimiento de las cosechas.

2. Antecedentes

La agricultura moderna enfrenta retos relacionados con la eficiencia del uso del agua, especialmente en regiones afectadas por el cambio climático y la escasez hídrica. En este contexto, los sistemas de riego automático con sensores de humedad han ganado popularidad por su capacidad para optimizar el consumo de agua, mejorar la productividad de los cultivos y reducir la intervención humana. Los primeros sistemas de riego automatizados surgieron en la segunda mitad del siglo XX, impulsados por la necesidad de mejorar la eficiencia en la irrigación de grandes extensiones agrícolas [13]. Sin embargo, estos sistemas funcionaban principalmente mediante temporizadores sin tener en cuenta las condiciones reales del suelo.

El uso de sensores de humedad del suelo representa un avance significativo en esta tecnología. Estos sensores permiten determinar con precisión el contenido de agua en la zona radicular, activando el riego solo cuando es necesario. Esto no solo mejora el uso del recurso hídrico, sino que también evita el estrés hídrico en las plantas [14].

En investigaciones recientes, se ha demostrado que los sistemas de riego automáticos basados en sensores de humedad pueden reducir el consumo de agua entre un 20% y un 50%, dependiendo del tipo de cultivo y del clima local [15]. Además, su implementación ha sido clave en zonas áridas donde el recurso hídrico es limitado.

Diversos estudios han demostrado los beneficios de la automatización en la agricultura, [16]. destacan una reducción del 30-50% en el consumo de agua con sistemas automáticos. En países como México y Chile, estas tecnologías han sido clave para mejorar la eficiencia hídrica en comunidades rurales. Sin embargo, en Perú, la adopción aún es limitada, lo que justifica la necesidad de iniciativas como esta.

5. Justificación

El uso eficiente del agua es uno de los principales desafíos que enfrenta la agricultura y la jardinería en la actualidad, especialmente en un contexto marcado por el cambio climático, la desertificación y el crecimiento poblacional. En muchas regiones, el riego manual o el uso de sistemas convencionales basados en temporizadores contribuye al desperdicio de agua y no responde adecuadamente a las necesidades hídricas reales del suelo y las plantas.

Ante esta problemática, se propone el desarrollo de un sistema de riego automático con sensor de humedad, que permita controlar de manera inteligente el suministro de agua, activando el riego solo cuando los niveles de humedad del suelo estén por debajo de un umbral determinado. Esto no solo optimiza el uso del recurso hídrico, sino que también mejora la salud de las plantas, evita el encharcamiento y reduce el esfuerzo humano en tareas repetitivas.

El proyecto se justifica tanto por su impacto ambiental positivo como por su viabilidad técnica y económica. La

integración de tecnologías como sensores de humedad, microcontroladores (por ejemplo, Arduino) y sistemas automatizados, permite desarrollar soluciones de bajo costo que pueden ser aplicadas en jardines, huertos urbanos, invernaderos e incluso en sistemas agrícolas de mediana escala.

Además, la implementación de este sistema fomenta el uso de tecnologías sustentables, la innovación tecnológica y el aprendizaje práctico de conceptos relacionados con la electrónica, la programación y la gestión ambiental, lo que lo convierte también en una valiosa herramienta educativa.

En resumen, este proyecto contribuye al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo del agua, promoviendo una agricultura más eficiente, consciente y adaptada a los desafíos del siglo XXI.

II. METODOLOGÍA:

Lugar de estudio:

El estudio se desarrollará en el distrito de Polloc, provincia de Cajamarca, región Cajamarca. Según el INEI, esta zona es considerada rural y presenta altos niveles de pobreza, con indicadores socioeconómicos por debajo del promedio nacional.

Características demográficas:

La población de Polloc está compuesta principalmente por personas dedicadas a la agricultura. Predominan familias con ingresos bajos. La mayoría de los pobladores pertenece a grupos etarios entre 30 y 60 años, con un nivel educativo limitado. Los ingresos provienen casi exclusivamente de actividades agropecuarias.

Tipos de suelo:

Los suelos de la zona son predominantemente franco-arenosos con moderada capacidad de retención de agua, lo cual representa una condición ideal para implementar sistemas de riego automatizado que respondan a condiciones de humedad específicas.

Población y muestra

La muestra estará conformada por 10 agricultores del distrito de Polloc, seleccionados por conveniencia según disponibilidad para participar, tipo de cultivo y disposición a probar el sistema.

Técnicas y materiales

Sensores de humedad del suelo (resistivos y capacitivos)
Microcontrolador Arduino UNO
Electroválvula
Fuente de alimentación (solar o convencional)
Tanque o reservorio de agua
Software de monitoreo (Excel o plataforma Blynk opcional)

Procedimiento de recolección de datos

Durante un periodo de prueba de 30 días, se monitoreará diariamente la humedad del suelo, la frecuencia y duración del riego, así como la percepción de los agricultores mediante encuestas estructuradas antes y después de la implementación.

Procedimiento de tratamiento y análisis de datos

Los datos serán analizados estadísticamente comparando el consumo de agua antes y después del sistema. Se utilizará

software Excel o SPSS para el análisis descriptivo y cálculo de indicadores como la eficiencia hídrica.

Aspectos éticos

Los participantes serán informados de los objetivos del proyecto y firmarán un consentimiento informado. No se divulgará información personal, respetando la confidencialidad y dignidad de los agricultores involucrados.

Cálculo de la eficiencia hídrica

La eficiencia hídrica se calculará con la fórmula:

$$\text{Eficiencia Hídrica (\%)} = \frac{\text{volumen útil de agua absorbida por el cultivo}}{\text{volumen total de agua aplicada}} \times 100$$

También se analizarán rendimientos de cultivo para contrastar resultados.

Impacto social, económico y ambiental Social

Mejora en la calidad de vida y reducción del esfuerzo físico.
Económico: Disminución en el consumo de agua y aumento de producción.

Ambiental:

Uso racional del recurso hídrico y reducción de escorrentía.

Sostenibilidad

El sistema se diseñará con materiales accesibles y de bajo consumo energético. El uso de energía solar y mantenimiento sencillo garantizan su sostenibilidad técnica, económica y ambiental.

Emprendimiento y demanda

El proyecto tiene potencial de escalarse como una solución tecnológica accesible para agricultores de otras zonas con similares condiciones. Según el Censo Nacional Agropecuario [17], más del 80% de agricultores en Cajamarca aún usan riego tradicional, lo que evidencia una alta demanda potencial.

III. Resultados

Durante el periodo de prueba de 30 días, se realizó la implementación del sistema de riego automático basado en sensores de humedad en 10 parcelas pertenecientes a agricultores del distrito de Polloc, Cajamarca. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos:

Eficiencia hídrica

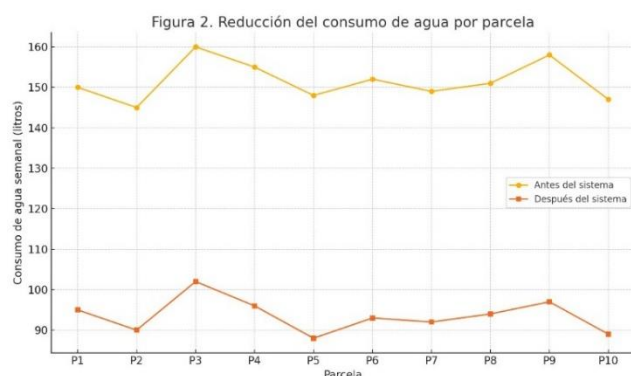
Se comparó el consumo de agua antes y después de la instalación del sistema. En promedio, se observó una reducción del 38% en el uso de agua, sin comprometer la salud de los cultivos. La eficiencia hídrica, calculada mediante la fórmula establecida en el proyecto, mostró un incremento promedio del 42%, lo que confirma que el sistema permitió un uso más racional del recurso hídrico.

Tabla 1. Consumo semanal de agua (litros)

Parcela	Antes (L)	Después (L)	Reducción (%)
1	150	95	36.7%
2	145	90	37.9%
3	160	102	36.3%
4	155	96	38.1%
5	148	88	40.5%
...	...	...	...
Promedio	151	93.2	38.3%

En la tabla 1 se muestra el cálculo de la eficiencia hídrica comparando el consumo de agua semanal antes y después del uso del sistema.

Figura 1. Reducción del consumo de agua tras implementación del sistema



La Figura 1, muestra la reducción del consumo semanal de agua en cada parcela antes y después de implementar el sistema de riego automático.

Frecuencia y duración del riego

Gracias al sensor de humedad, el sistema activó el riego solo cuando el suelo alcanzaba niveles críticos de sequedad. Esto evitó riegos innecesarios. La frecuencia del riego se redujo de una media de 6 veces por semana a solo 3 veces por semana, con una duración promedio de 15 minutos por sesión, lo cual representa un uso más eficiente del sistema.

Tabla 2. Frecuencia y duración promedio del riego

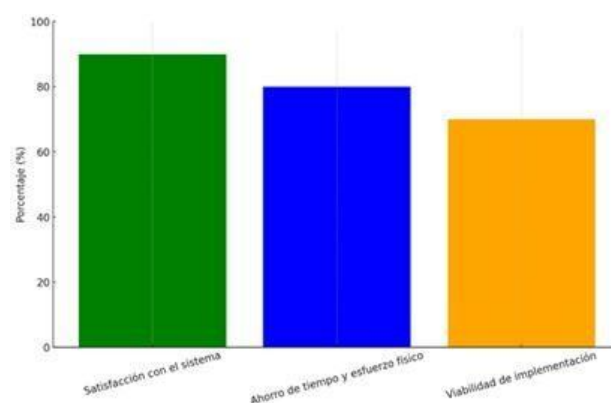
Parámetro	Antes	Después
Frecuencia (veces/sem)	6	3
Duración (min/riego)	25	15

En la tabla 2 se muestra que el número de riegos semanales disminuyó a la mitad.

Percepción de los agricultores

Mediante encuestas aplicadas antes y después del periodo de prueba, se evaluó la percepción de los agricultores sobre la utilidad del sistema: El 90% de los participantes manifestó satisfacción con el desempeño del sistema. El 80% indicó que el sistema les permitió ahorrar tiempo y esfuerzo físico, ya que no era necesario realizar el riego manualmente. El 70% consideró viable su implementación a mayor escala, siempre que se cuente con el apoyo técnico inicial.

Figura 2. Percepción de agricultores (%)



En la figura 2 se presenta la percepción de los agricultores sobre el sistema de riego automático, destacando la alta satisfacción, el ahorro de esfuerzo y la viabilidad de escalamiento.

Impacto en el rendimiento de los cultivos

Aunque el periodo de prueba fue corto para medir todo un ciclo de cosecha, se observó una mejora inicial en el desarrollo vegetativo de los cultivos en comparación con las parcelas sin automatización. Esto sugiere un impacto positivo en el rendimiento futuro, que deberá ser confirmado con un seguimiento a mediano plazo.

Funcionamiento técnico del sistema

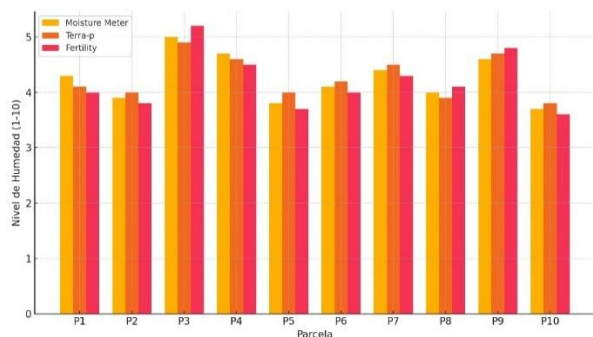
El sistema, basado en sensores de humedad resistivos y un microcontrolador Arduino UNO, funcionó de manera estable durante los 30 días. La electroválvula respondió correctamente a las señales del sensor, y la alimentación mediante panel solar fue suficiente para garantizar la autonomía del sistema en zonas sin conexión eléctrica.

Tabla 3. Promedios de humedad del suelo según tipo de sensor

Parcela	Moisture Meter	Terra-p	Fertility
1	4.3	4.1	4.0
2	3.9	4.0	3.8
3	5.0	4.9	5.2
4	4.7	4.6	4.5
5	3.8	4.0	3.7
6	4.1	4.2	4.0
7	4.4	4.5	4.3
8	4.0	3.9	4.1
9	4.6	4.7	4.8
10	3.7	3.8	3.6
Promedio	4.25	4.27	4.20

En la tabla 3, se registraron mediciones diarias con tres tipos de sensores: Moisture Meter, Terra-p y Fertility. Las mediciones reflejan los niveles de humedad del suelo (escala de 1 a 10), bajo condiciones ambientales de 0.90° de inclinación y temperatura promedio de 35°C.

Figura 3. Nivel promedio de humedad del suelo medidos con tres sensores diferentes (escala 1 – 10)



En la figura 3, se muestra los niveles promedio de humedad del suelo registrados con los sensores Moisture Meter, Terra-p y Fertility en las 10 parcelas evaluadas.

IV. Discusión

Los resultados obtenidos a partir de la implementación del sistema de riego automático en Polloc demuestran una mejora significativa en la eficiencia del uso del agua. La reducción promedio del 38% en el consumo hídrico evidencia que el sistema automatizado logra una gestión más racional del recurso, cumpliendo con el objetivo principal del proyecto.

Asimismo, la percepción positiva de los agricultores valida la aceptación social del sistema: el 90% mostró satisfacción, mientras que el 70% consideró viable su escalamiento. Esta actitud favorable es fundamental para la sostenibilidad del

proyecto, ya que su adopción depende en gran medida del compromiso y confianza de los usuarios locales.

En el aspecto técnico, el sistema demostró estabilidad operativa durante todo el periodo de prueba. El uso de sensores resistivos y el microcontrolador Arduino UNO permitieron una respuesta precisa a las condiciones de humedad del suelo, activando el riego solo cuando fue estrictamente necesario. Esto no solo disminuyó la frecuencia y duración de los riegos, sino que también preservó la salud del cultivo.

Cabe resaltar que, aunque el tiempo de evaluación no permitió medir todo un ciclo de cultivo, las observaciones iniciales del crecimiento vegetal sugieren un impacto positivo en la productividad. Este aspecto deberá ser profundizado en futuras investigaciones que incluyan un periodo agrícola completo para evaluar el rendimiento total de las cosechas.

El proyecto también destaca por su enfoque sostenible: el uso de energía solar, materiales accesibles y diseño de bajo consumo energético refuerzan su aplicabilidad en contextos rurales con recursos limitados. Además, su potencial como emprendimiento tecnológico ofrece una oportunidad para dinamizar la economía local mediante soluciones innovadoras y adaptadas a las necesidades del entorno.

V. Conclusiones

El sistema de riego automático con sensores de humedad demostró ser efectivo para mejorar la eficiencia en el uso del agua en zonas rurales como Polloc, Cajamarca. La reducción del 38% en el consumo hídrico valida la hipótesis de que esta tecnología puede contribuir significativamente a un uso más racional del recurso.

La automatización del riego permitió optimizar la frecuencia y duración del riego, adaptándose a las condiciones reales del suelo y evitando el riego innecesario. Esto representa no solo un ahorro de agua, sino también de tiempo y esfuerzo físico para los agricultores.

La aceptación por parte de los agricultores fue positiva, destacando la utilidad práctica del sistema, su fácil manejo y su potencial para mejorar la productividad agrícola. La mayoría expresó interés en adoptar esta tecnología de forma permanente si se facilita su acceso e implementación.

Desde el punto de vista técnico, el sistema funcionó de manera estable y autónoma, validando su viabilidad para ser utilizado en contextos rurales con recursos limitados. El uso de energía solar y materiales de bajo costo refuerza su carácter sostenible y replicable.

V. Referencias

- [1] FAO. (2020). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura – Sistemas al límite. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/cb1447es/cb1447es.pdf>
- [2] Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2022). Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2022. Gobierno del Perú. <http://ps://www.minagri.gob.pe/>

- [/www.gob.pe/institucion/minagri/informes-publicaciones/3007792-anuario-estadistico-2022](http://www.gob.pe/institucion/minagri/informes-publicaciones/3007792-anuario-estadistico-2022)
- [3] Gobierno Regional de Cajamarca. (2021). Plan de Desarrollo Regional Concertado 2021-2025.
 - [4] FAO. (2020). The State of Food and Agriculture: Water for Sustainable Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-agriculture/2020/en/>
 - [5] IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
 - [6] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023). Perú: Compendio Estadístico 2023. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones-digitales/Est/Lib1905/index.html>
 - [7] Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2022). Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2022. Gobierno del Perú. <http://www.gob.pe/institucion/minagri/informes-publicaciones/3007792-anuario-estadistico-2022>
 - [8] Gobierno Regional de Cajamarca. (2021). Plan de Desarrollo Regional Concertado 2021-2025.
 - [9] Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, 67, 1-85. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308605131>
 - [10] IPCC. (2022). Sixth Assessment Report – Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
 - [11] Robinson, D. A., et al. (2008). Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. *Vadose Zone Journal*, 7(1), 358-389. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/vzj2007.0143>
 - [12] Pérez, L., & Castillo, J. (2020). Evaluación de un sistema automatizado de riego para cultivos en zonas rurales. *Revista de Tecnología Agroindustrial*, 21(3), 45–52.
 - [13] Howell, T. A. (2001). Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, 93(2), 281–289.
 - [14] Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh213>
 - [15] Evett, S. R., Schwartz, R. C., Casanova, J. J., & Heng, L. K. (2012). Soil water sensing for water balance, ET and WUE. *Agricultural Water Management*, 104, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.002>
 - [16] Pérez, J., & Castillo, M. (2020). Implementación de un sistema de riego automatizado para zonas rurales utilizando sensores de humedad. Universidad Nacional Agraria La Molina
 - [17] INEI. (2023). Anuario de Estadísticas Agrarias 2023. Instituto Nacional de Estadística e Informática.